构建我国第三代农机的创新体系

孙凝晖　张玉成*　石晶林

中国科学院计算技术研究所　北京　100190

摘要　农业机械化和农业装备智能化是提高农业生产效率、转变农业发展方式、提高农村生产力的重要基础。70年来我国的农机工业从新中国成立时候的“一穷二白”发展到如今全球规模第一，取得了举世瞩目的成就。但是，我国的农机工业与世界农机强国相比依然存在着巨大的技术差距，“大而不强”成为现阶段的主要特征。如何实现农机工业“由大变强”的突破，根本路径是要建立适合中国农业生产作业方式的农机创新体系。文章以拖拉机作为农机行业的典型代表，回顾了我国农机工业体系的发展历程，并结合技术发展和土地制度的变革，对新中国的农机工业体系进行断代划分；着重阐述了未来第三代农机的创新体系建设目标和内容；探讨新的技术创新体系在黄河三角洲的应用与实践，介绍如何构建第三代农机的应用体系。最后，对全面构建自主可控的第三代农机创新体系提出规划建议。

关键词　智慧农业装备，产业布局，第三代农机创新体系，智慧农业，规划建议

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20200107003

习近平总书记指出，要大力推进农业机械化、智能化，给农业现代化插上科技的翅膀。随着科学技术的进步，农业生产逐步呈现出“工业化”的趋势。当前，农业生产过程中的流程颗粒度越分越细，以数据为驱动的生产组织管理模式得到了广泛的认可，农业生产的组织方式初步具备了工业化流程生产的特点。可以预见，这种生产模式将会极大地解放人力，提升农业生产效率，并将深刻地影响农业产业的上、下游。与工业生产类似，贯穿农业生产上、下游的核心是“装备”和“信息”，尤其是两者融合而成的“智能农机装备”，其应具有信息数据处理与智能作业能力。从全球农机巨头的技术布局来看，这一趋势已十分明显。但是，在我国传统农机技术远远落后于发达国家的情况下，如果仍采用按部就班的“追赶策略”，必然导致我国农机创新体系的建设“一步落后，步步落后”。因此，在全球农机工业强国纷纷开展新一代农机创新体系建设的起跑时刻，我国的农机工业借助我国在信息技术领域的优势，打造以信息技

*通讯作者
资助项目：中国科学院科技服务网络计划（STS）（KFJ-STS-ZDTP-074）
修改稿收到日期：2020年2月10日

术为核心承载的自主可控的农机创新体系，将是一种重要探索。

农业机械泛指在种植业和畜牧业生产过程中，以及农、畜产品初加工和处理过程中所使用的各种机械。而以提供动力输出为主要特征的拖拉机则被作为农业机械的代表产品，其技术发展水平在很大程度上反映了一个国家农机产业的整体技术水平。因此，本文将以拖拉机为代表来阐述我国农机工业创新体系的建设思路。

1 我国的农机创新体系长期依靠“引进消化吸收”

1.1 我国农机体系创新发展史

新中国成立以前，我国没有自己的农机工业体系。新中国成立后，我国农机工业发展历程大致可分为两个阶段。

第一阶段始于20世纪50年代。这一时期，我国立足于集体农业生产模式，并于“一五”期间引进苏联技术。例如，兴建“东方红洛阳拖拉机厂”，并以哈尔科夫拖拉机厂“德特54”为基础生产出“东方红54”金属履带式拖拉机，这标志着我国从此由铁犁牛耕开始进入农业机械化进程。同期还有1956年正式命名的天津拖拉机厂及“铁牛”牌拖拉机，1958年建立的长春拖拉机厂生产的“上游”牌拖拉机，1958年上海拖拉机厂生产的第一台“红旗”牌拖拉机，以及江西、清江、邢台、湖北、新疆等拖拉机厂。这些拖拉机制造企业代表了一个时代的技术水平，成为当时的十大农机制造厂，也为我国农机产业发展进入新的时代奠定了基础。

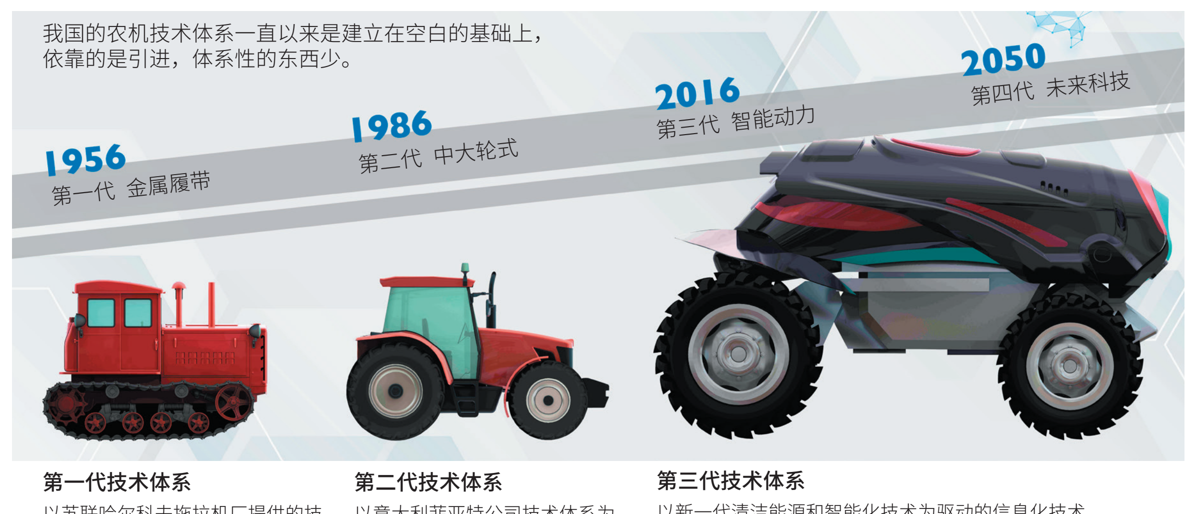
第二阶段始于改革开放。此时，农业生产模式由集体生产模式改变为包产到户，以苏联技术为基础的农机技术体系已难以满足个体化农业生产过程中的复杂多变的使用需求，于是十大农机制造厂纷纷推出满足农村改革的小四轮、小手扶等农机产品。但是，这一短暂的自主创新产品属于“土法制造”，成“体系”不足。在“技术换市场”的思路指导下，我国于20世纪80年代末以成套引进意大利菲亚特的中、大马力轮式农机体系为标志，开始了以欧美技术体系为代表的第二代农机体系的“引进—消化—吸收—再创新”的产业发展历程，并以此为基础催生了以产业配套为特征的农机产业聚集区和新的农机品牌。如今，以河南洛阳、山东潍坊、江苏常州为主的三大农机生产制造基地已经成型；此外，浙江东部、安徽芜湖、吉林、河北等地也形成了一定规模的农机产业聚集。

1.2 我国农机创新体系的断代划分

体系的建立不仅包含技术体系，还包括制造体系、标准体系、商业体系、人才体系等。仅从技术体系上来看，上述两个历史阶段明显分属两代不同的技术体系，并且时间上的持续期都在30年左右。从全球来看，以美国凯斯公司2016年研制的全球第一台无人驾驶智能农机作为标志，世界农机发展站到了以信息技术为核心的新一代农机体系的关口。

技术发展的断代（整理、区分、分代）对于厘清思路、指导研发具有重要意义。因此，有必要对我国农机技术体系进行断代划分。世界上，农机正式起源于18世纪60年代第一次工业革命，而直到1949年新中国成立后我国才开始建设自己的农机工业体系。因此，我们将以拖拉机为代表的我国农机工业发展历程划分为3个阶段，即三代体系（图1）：① 第一代体系——苏联技术体系（1956—1986年），以差速转向技术、动力系统、湿式主离合器等技术为核心；② 第二代体系——欧美技术体系（1986—2016年），以电动燃油喷射、高压共轨燃油机、动力换挡等技术为核心；③ 第三代体系——信息化技术体系（2016—2046年），以清洁能源、无人化和智能化作业为主要特征的新一代农机技术体系。

第一代与第二代农机体系大致都经过了30年发展



第一代技术体系
以苏联哈尔科夫拖拉机厂提供的技术为基础的苏联技术体系

第二代技术体系
以意大利菲亚特公司技术体系为代表的欧美技术体系

第三代技术体系
以新一代清洁能源和智能化技术为驱动的信息化技术体系

图1　我国农机创新体系技术断代图

历程，尤其是改革开放以来建立在第二代体系之上的农机工业更是成绩斐然。自2004年6月25日全国人大通过《中华人民共和国农业机械化促进法》后，我国的农机工业经历了“黄金十年”的快速发展。2018年国家统计局发布的工业运行数据显示，全行业主营业务收入2 601.32亿元人民币，我国已经成为全球第一农机制造大国[1]。

1.3 我国的农机行业存在的核心问题

由于我国农机的前两代技术体系都是依靠技术引进，属于追赶者，这是造成我国农机工业长期处于落后状态的核心原因之一。综合来看，我国的农机行业存在的核心问题主要体现在3个方面。

（1）我国农机工业长期依靠引进、消化、吸收国外农机技术，缺乏自主的创新技术能力和基础技术研究，导致我国农机产业“大而不强”。从农机装备整体水平上来看，由于缺乏大量基础共性技术研究，核心零部件长期依赖进口，虽然目前我国已经成为全球第一的农机生产制造和消费大国，但整体的装备技术水平与全球农机强国相比，还存在至少30年以上的差距[2]（表1）。从行业龙头规模来看，国内农机行业竞争格局分散，市场集中度有待提高，具备国际竞争力和品牌影响力的大型企业集团严重缺乏。虽然2018年我国农机生产企业总产值为2 600多亿元人民币[3]（不含零部件企业），其总额仅为全球农机巨头约翰迪尔公司293亿美元产值的1.3倍左右。同期我国最大农机企业总产值只有不到百亿元人民币，与世界农机巨头相比存在当量级的差距。究其根源还是创新不足：我国农机企业的研发费用占企业销售额不足2%，而国外主要农机企业基本在4%—6%。现代设计方法与试验条件滞后，产品开发周期是国际水平的2—3倍[4]。学科方面，农业装备学科世界前20名高校均分布在欧、美、日，中国高校无一入围。人才方面，我国农机产业到2020年的人才缺口为16.9万人，到2025年缺口将高达44万人[5]。

（2）我国农机产品需求多元，但实际情况是农机种类少，低水平重复、恶性竞争现象严重。我国地域辽阔，经纬度跨度大，导致我国的农业生产呈现出多样化的特征，如长江中下游地区的水田、东北黑土地的规模农业、宁夏青海地区的干旱农业、西南地区的丘陵山地农业、渤海湾地区的盐碱地农业等。复杂的地形地貌与气候特征导致农作物的品种多样化，作业方式多样化，因此所需要的农业装备也是多样化。但

表 1　国内外农机关键技术指标对比

关键技术指标	国外情况	国内情况	差距
机械化水平	美国：1954 年全面实现机械化 加拿大和原西德：20 世纪 60 年末全面实现机械化 日本：1982 年全面机械化 韩国：1996 年全面机械化	我国 2025 年基本实现机械化， 2035 年全面实现机械化	半个世纪以上
动力换挡技术	1970 年美国开始采用	2014 年开始研发	44 年
闭心式液压系统	美国于 1961 年开始应用	我国于 2010 年开始应用	39 年
大马力拖拉机	1980 年美国开始生产 250 马力	2015 年开始生产 240 马力	35 年
纵轴流谷物收获机	美国 1976 年开始生产 割幅 6 米，230 马力	2011 年开始生产 割幅 5.3 米，220 马力	35 年
平均无故障时间（MTBF）	20 世纪 80 年代意大利菲亚特公司拖拉机 MTBF 达到 350 小时	2017 年某大型企业产品 MTBF 才达到 330 个小时	30—40 年
农机作业效率	2016 年美国亩均动力 0.06—0.07 kW	同期我国的亩均动力 0.41 kW	约 6 倍

是由于农机基础技术体系不掌握在自己手中，导致新产品研发周期长、水平低，加上核心技术的基础投入不足，使得我国农机企业产品扎堆严重，呈现低水平重复、恶性竞争的特点。目前，我国农机品种依然聚焦在三大主粮作物的耕种收环节，针对棉、麻、油、糖等作物则缺少农机供给。从全球范围看，全球农机产品种类已达 7 000 多种，而我国农机产品的品种只有 4 000 多种[6]。我国“无机可用”现象将长期存在，根据区域生产特点开展个性化农机定制的需求迫切。

（3）依靠现有的农机体系不能满足乡村振兴、“一带一路”建设等国家需求。一切技术催生的劳动工具都是生产力和生产关系相互作用的必然结果，农业机械的革新过程也是社会发展历程的反映。从社会发展角度看，随着我国城镇化进程的加速，农村人口逐步转为城市人口，农村劳动力的短缺导致出现土地“撂荒”的现象。“00后”“10后”很难再像他们的祖辈一样从事传统“面朝黄土背朝天”的农业生产。因此，乡村振兴战略的实施需要吸引更多的中高端技术人才回流到农村成为新时代的职业农民，从而实现城镇化发展和乡村振兴相得益彰，良性互动。而这些“新农民”则需要借助高端智能农机，如同操作手机、电脑一样来从事现代化的农业生产。从新时期的社会主义土地制度看，土地属于国家和集体，但是在生产关系变革过程中，土地制度也随之变革。从新中国成立后的人民公社制度，到改革开放后的“包产到户”，再到如今的土地确权中的“三权分立”，都伴随着土地集约化程度的改变。小农经济的精耕细作与规模化生产的精准高效，都会反应在生产工具的创新变革上。我国土地的适度规模经营以及人民对高质量农产品的需求，都将催生智能化的农业生产装备，而目前的生产工具并不能适应这样的发展趋势和要求。此外，“一带一路”沿线发展中国家农业生产效率和生产水平较低，急需中小型农机装备。而对于中小型农机装备，发达国家不愿意制造，“一带一路”沿线国家没有能力制造，这种情况下我国的农机工业蕴含巨大的发展机遇。然而，目前我国出口到中亚和非洲市场的拖拉机竟然竞争不过印度马恒达这样的农机企业。因此，我国农机工业亟待研发技术先进、质量过硬的第三代农机。

中国的发展面临“百年未有之大变局”，中美经贸

摩擦只是这场大变局的开端。粮食安全作为国家三大基础安全之一，在中美经贸摩擦的大背景下重要性愈发突出。美国每次都将大量农产品的输入作为谈判的主要诉求，而大量农产品输入将逐步削弱我国粮食自我保障能力。依靠第三代农机推动我国的农业生产方式变革的时代已经来临。如同我国移动通信产业历经“2G 跟随—3G 突破—4G 同步—5G 引领”的历史性跨越一样，必须在农机行业构建自主可控的第三代农机的创新体系，走出一条我国农机工业创新发展的新道路。

2 构建自主可控的第三代农机创新体系

2.1 第三代农机创新体系特点

以美国凯斯公司 2016 年研制的全球第一台无人驾驶智能农机作为标志，世界农机发展站到了以信息技术为核心的第三代农机体系的关口。信息技术驱动的第三代农机创新体系，具体有 3 个特点：电子化实现农机数字控制、网联化实现农机互联互通、智能化实现农机无人作业。具体来说，就是以机械装备为载体，融合电子、信息、生物、环境、材料、现代制造等技术，不断增强装备技术适应性、拓展精准作业功能、保障季节劳动作业可靠性、提升复杂结构制造高效性、改善土壤-动植物-机器-人与生态环境协调性，实现“安全多能、自动高效、精准智能”。

2.2 第三代农机创新体系核心路线

由于第三代农机创新技术将传统的农机从机械控制带到了“机械、控制、通信、计算”融合的新阶段，需要中国科学院计算技术研究所这样的信息领域相关单位进入该领域，并积极主导推进新体系的建立，从而建立类似于信息产业的分工模式。以信息产业为例，苹果、华为等信息领域的企业，以构建体系、攻克关键技术、输出解决方案和提供服务为业务核心，真正的生产制造由富士康、比亚迪等代工企业完成。因此，第三代农机创新体系的核心思维方式就是把农机转变为以信息技术为核心的高科技智能农业装备。而智能农业装备的实现需要以农业机械装备学科为基础，融合物联网、移动通信、云计算、大数据、人工智能等信息技术，实现跨越式发展。在研发体系上，要构建开放的标准体系（图 2），最大程度上发挥出高校、科研院所、企业的各自优势，联合攻关。

2.3 第三代农机体系构建重点

2.3.1 第三代农机体系的开放标准，形成农机开放的基础参考架构

三代农机体系面向农业生产模式的转变，需要在传统农机架构的动力系、传动系、行走系、悬挂系、

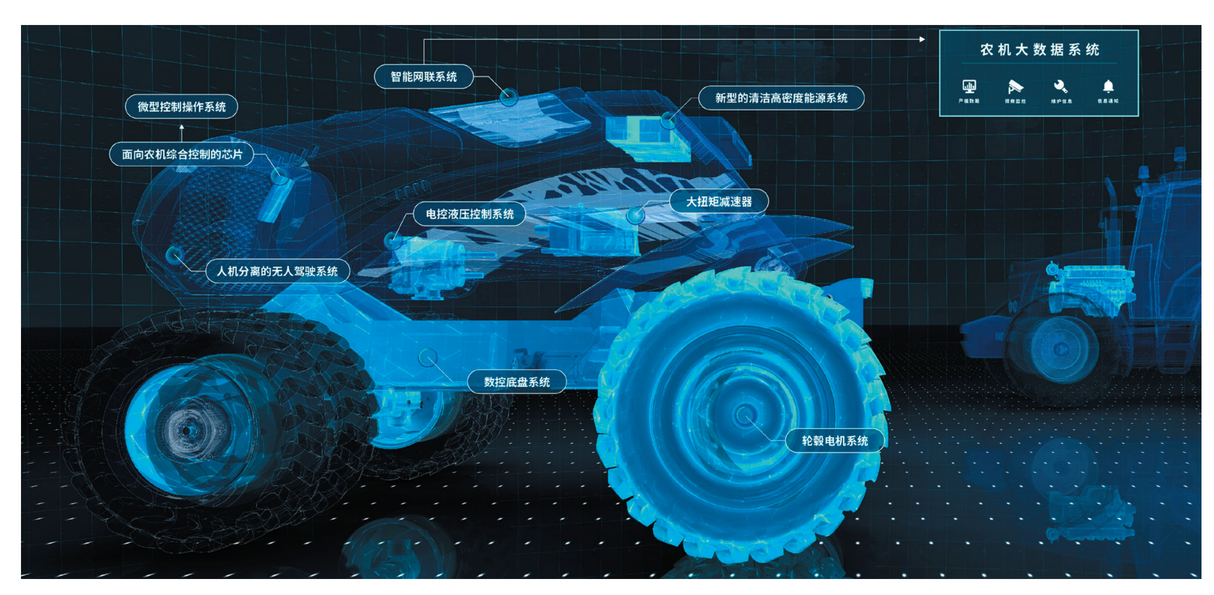


图 2　第三代农机体系核心内容

液压系、收获系统等物理系统基础上，以信息技术为血液构建新型整体架构，包括：分布式电机动力系统、集中式高密度能源系统、电子控制减速系统、模块化收获系统、智能网联系统。基于标准架构及共性技术平台，实现定制化农机产品的开发，形成面向农业生产服务的成套技术、标准和工艺流程，满足未来农业生产全生命周期管理需求。第三代农机体系的实现需要集中国内相关领域的核心研发团队，构建统一开放的标准架构，通过功能的分层分块和接口的标准统一，进行全产业链的协同，完成农机产品开发、制造与信息技术的深度融合，促使制造业、信息产业和农业的协同升级。

2.3.2 面向农机智能化的核心信息部件研发

智能化是第三代农机体系的核心。为此，需要重点围绕5类核心部件进行布局，实现农机的智能化。

（1）面向农机综合控制的芯片。针对农机信息化需求，实现农机电子系统的集中化控制，并为农机作业、自动驾驶等功能提供毫秒级的数据处理及通信平台。

（2）微型控制操作系统。满足农机应用多元化的核心调度与智能控制算法，完成农机作业过程中亚米级的自动化精量控制。

（3）智能网联系统。基于天地一体化网联通信技术，将传统的农机升级为具备计算、通信、控制能力的新型智能终端，并支持集群、协作、广域通信的能力，满足农机控制过程中GB级别的综合数据传输需求。

（4）“人机分离”的无人驾驶。分阶段实现辅助驾驶、遥控驾驶、智能自主驾驶，具备对农业生产的记忆和自我执行能力，在特定的农场里面可以根据历史经验自主执行。

（5）农机大数据系统。实现农机农业数据EB级的存储及处理，实现数据驱动的农机作业控制、故障预测等，并对上提供农业生产应用的数据及控制接口。

2.3.3 基于新能源技术实现农机基础平台的“换道超车”

经过多年的发展，我国在新能源技术领域已经获得良好的技术积累，为我国借助新能源技术研发农机基础平台提供了良好的基础。此外，新能源技术与信息技术具有天然的亲和力，因此，基于新能源技术实现农机基础平台的飞跃是构建三代农机体系的重要思路。农机基础平台的研发工作主要包括6个方面。

（1）轮毂电机系统。通过分布式控制的轮毂电机实现大马力动力系统提升，包括单机的分布式电机部署，实现单机动力的线形叠加和依靠通信系统实现多机集群驾驶，提升作业效率。

（2）新型的清洁高密度能源系统。分阶段引入新型清洁能源驱动农业装备，从锂电到甲烷，再到氢能源动力，稳步实现500 Wh/kg能量密度，完成农机主体能源系统从燃油到清洁能源的替代。

（3）分布式控制系统。针对可扩展的轮毂电机架构，通过分布式的轮毂电机控制，实现低速非道路行走的分布式控制。

（4）大扭矩减速器。完成低转速大扭矩的农机减速器设计与材料选型，实现大马力农机平台的稳定控制。

（5）电控液压控制系统。通过电控方法和精确控制液压系统，为厘米级的农机精量作业提供更为准确得控制。

（6）数控底盘系统。针对无人智能驾驶需求，设计大马力数控底盘，实现自动转向、提速等功能。

2.3.4 基于我国地理地貌特点，进行定制化研发，并构建新型农业生产服务

我国农业生产极富地域特色，东、西部地区以400 mm年降水量为界。其中，东部地区热、水、土条件有较为良好的配合，人口稠密，是我国绝大部分

农作物及林、渔、副业的集中地区。西部地区气候干旱，在热、水、土条件的配合上有较大缺陷，人口稀少，大部分地区是以畜牧为主，种植为辅。因此，个性定制的农业装备有着非常现实的需求。

针对我国不同地域、不同气候、不同作物的农业生产需求，应提供多元化的成套智能农业装备及信息化解决方案。长期目标是打造面向农业、制造业与服务业相融合的互联网化农机服务体系，实现以农机为入口的农业生产服务“阿里巴巴化”，构建农机行业与现代服务业结合的新型业态，推动资源综合循环利用和农业生态环境保护建设，支撑农业的可持续发展。

通过以上 4 个方面的重点布局，构建完整的第三代智能农机的创新体系，覆盖技术创新、产品创新、装备创新、标准创新、商业模式创新等不同的环节。从根本上改变目前农业装备的生产-销售模式，通过信息技术、智能技术驱动农机产业转型升级，从而与世界农机强国比肩。

3 我国第三代农机体系与智慧农业在黄河三角洲的探索

第三代农机体系的构建、完善和成熟需要一个发展过程，而大量的测试和验证是必不可少的环节。因此，针对特殊地形地貌和特殊的农作物品种，按照“工业 4.0”的思路，实现个性化的农机定制，并开展技术、整机和示范验证，对于推动第三代农机产业的发展尤其重要。

目前，我国耕地面积约 18 亿亩，但其中碱化面积占 6.62%。此外，据统计我国有近 15 亿亩盐碱地，约占世界盐碱地的 1/10。其中，有 2 亿亩盐碱地被认为具有农业利用潜力。作为我国重要的后备耕地资源，改良和利用盐碱地对补偿日益减少的耕地面积、保障国家粮食安全具有重要意义。在农业装备方面，由于盐碱地土壤以及作物的特殊性，目前几乎没有出现专门针对盐碱地作业的农业装备，更不用说“耕、种、管、收”的全程机械化。

黄河三角洲农业高新技术产业示范区（以下简称“黄三角农高区”）是我国 21 世纪设立的第一个围绕盐碱地综合治理的国家级农业高新技术产业示范区。国务院赋予黄三角农高区的重大任务是：深入实施创新驱动发展战略，在盐碱地综合治理、国际科技交流与合作、体制机制与政策创新、“四化”同步发展方面先行先试，做出示范；建立可复制、可推广的创新驱动城乡一体化发展新模式，成为促进农业科技进步和增强自主创新能力的重要载体，成为带动东部沿海地区农业结构调整和发展方式转变的强大引擎。特别是，当前黄河流域生态保护和高质量发展已经上升为重大国家战略，黄三角农高区在中国科学院、山东省政府的积极支持下成立了黄河三角洲农高区技术创新中心，而第三代农机技术体系则成为未来农业耕作模式的一个重要支撑点。因此，我们计划以黄河三角洲盐碱地农业综合应用示范为例，对第三代农机体系的构建和未来农业耕作模式进行探索，建立可复制可推广的农机商业模式，具体工作包括 3 个方面。

3.1 资源整合，在黄三角农高区落地建设新一代智能农机中试研发平台

2019 年 11月，经中国科学院批准，由中国科学院计算技术研究所牵头，联合中国科学院植物研究所、微电子研究所、沈阳自动化研究所等 7 家院内单位联合组建了中国科学院智能农业机械装备工程实验室（以下简称“工程实验室”）。经过多年的部署和研发，工程实验室已经成功研发出国内首款智能农机专用控制芯片、智能网联终端控制器、农机大数据平台和无人驾驶技术等，率先提出并成功研制出全球第一台基于第三代技术体系的智能农业装备。目前，工程实验室团队在新一代智能农业装备领域处于国内领先、国际一流的水平。

为进一步促进我国新一代智能农机的发展，工程实

验室联合国家农机装备创新中心、中国石油大学（华东）、电子科技大学等，以黄三角农高区为基地，组建了山东中科智能农业机械装备技术创新中心。目前，该中心已经完成第三代农机中试研发平台的建设。针对第三代农机创新体系的关键技术，完成了智慧农业机器人应用开发平台、智能农机应用大数据平台、超级基站农业传输网络应用开发平台、智慧农耕设施监测应用平台、超大马力智能农机研发平台、农机具变量作业技术开发及验证平台、通导遥一体化的农业航空系统开发平台、智慧农耕装备生产过程检测开发平台、智慧农耕感知识别技术开发平台和全程无人化作业示范应用开发平台等十大关键技术平台。

3.2 围绕第三代超大马力智能网联农机装备建设中试组装基地

我国的农机产业，既要破“重主机，轻部件”的困局，也要继承“主机突破，零部件跟进”进而带动产业整体创新发展的历史经验。因此，在完成第三代农机创新体系的核心技术和核心零部件布局的同时，通过聚集国内的优势科技力量，形成核心竞争力，包括提供第三代农机核心控制芯片、操作系统和电子控制单元（ECU）等核心零部件，彻底打破国外对农机相关领域的垄断。项目团队将联合院内相关单位，围绕超大马力智能网联农机“鸿鹄”系列开展重大装备攻关，在黄三角农高区突破超大马力农机的复杂系统控制与系统集成难题，形成具备天地一体化网联、智能化作业、自主作业路径规划等功能的“全程无人化”系列作业装备（图3）。

3.3 打造以第三代农机为核心、数据为驱动的新型农业生产模式

30年前，我国的移动通信领域形成了以巨龙通信、大唐电信、中兴通讯、华为技术为代表的通信设备制造商，并依托三大电信运营商为主的产业格局。30年过去了，移动通信进入5G时代，以华为技术为代表的通信设备商和以中国移动、中国联通、中国电信为代表的运营商继续带领中国的通信产业前进。同样的情况也会发生在未来的农业生产领域。我们应当认识到，第三代农机创新体系未来商业模式的核心就是“服务”。因此，除了第三代农机装备生产制造外，还应当依托农机装备的“智能网联”能力，实现农机装备的服务运营，打破目前依靠政府补贴销售给农民农机的传统模式。农机之外，涉及智能化农业生产技术及智能化服务，形成智能化时代的新型农业生产模式变革。

为了实现全面“立体”的智能化农业生产（图4），本项目团队将基于山东黄三角农高区提供的万亩标准试验田，按照第三代农机体系的标准，从“端、网、云、数、用”5个层面进行信息技术与盐碱地农业生产相融合。① *在感知端*，结合土壤、气象、作物、畜牧生产的需要，构建以传感器技术为核心的末端数据采集系统。按照50亩为一个网格单元部署传感器终端，实现对整个农业生产过程的数字画像。② *在通信网络*，结合农业生产规模化的特点，提供蓝牙、WiFi、5G、卫星组合通信方式，实现空天地一体的立体通信，服务万亩级场景的农业生产通信



图3　基于第三代体系的智能农机示意图

要求。③ *在“云”和“大数据”层面*，围绕盐碱地的农业生产构建大数据中心，并结合云计算等技术手段进行数据分析与挖掘。通过每天约10 GB（视频数据经处理后回传）的农业生产数据的汇聚并实现万亩标准示范田的数据综合处理，形成盐碱地农业的生产经验数字化。④ *在应用方面*，挖掘盐碱地农业生产数据的价值，反向控制耕、种、植保、收获、烘干、储、运、深加工的第三代农业机械装备的无人化运作。黄三角农高区以科技创新为己任，借助土地连方成片，具备规模化和智能化作业的基础和创新优势，一旦形成 1 万亩级盐碱地智慧农业应用示范的标准生产模式，就可以逐步向我国 5 亿亩盐碱地复制推广，推动第三代农机体系的成熟。

黄三角农高区盐碱地是第三代农机创新体系以及商业创新体系的试验场。未来，以万亩级的标准试验田为模板，并结合我国复杂地形地貌、气候及作物特征，打造符合我国农业多元化特征的统一商业模式。以第三代农机体系为支撑，以“中国科学院农业科技整体解决方案”为基础，在全国范围内实现一系列的万亩级的样本，将其打造成国家粮食的“稳定器”，保障“中国饭碗”装“中国粮食”；并进一步为“一带一路”沿线国家提供全套体系，践行习近平总书记提出的“人类命运共同体”的伟大构想。

4 展望与建议

构建自主可控的第三代农机创新技术体系是改变

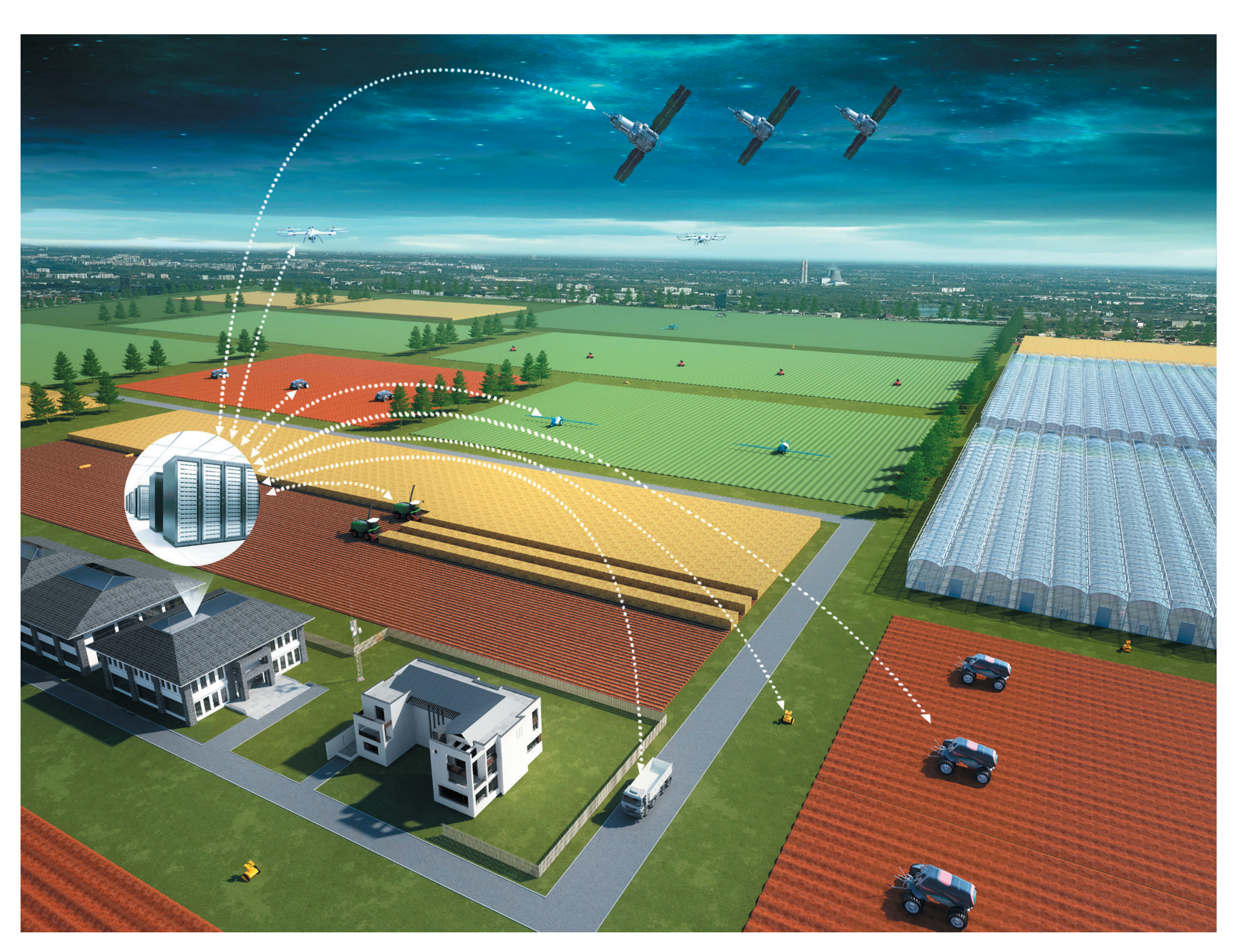


图 4　全面“立体”的智能化农业生产示意图

我国农机产业长期落后局面的重要抓手，更是提升我国农业生产力水平的关键。围绕“构建我国第三代农机的创新技术体系”这一核心目标，提出 3 个方面的建议。

（1）加强顶层设计。建议中国科学院针对该方向开展战略研究，结合创新性国家的发展战略，分别制定到 2025 年、2035 年、2050 年的发展规划，开展面向“一带一路”沿线国家的农机产业应用推广战略研究。同时，与科学技术部、工业和信息化部、国家发展和改革委员会、农业农村部、教育部等多个部委联动，对技术体系、制造体系、产业体系、应用体系、人才体系进行融合顶层设计，为达成第三代农机创新体系这一目标优化资源配置。

（2）建立国家平台。农机装备的创新涉及基础理论创新、关键技术创新、集成装备创新、商业模式创新。因此，建议围绕农机-农艺融合的复杂农机系统理论、不同土壤阻力模型下的农机动力学建模等基础理论，建立模拟与仿真试验场，并在国家重大基础科技设施方面予以支持。同时，依托工程实验室和筹备中的“中国科学院未来农业科技创新与产业化联盟”，争取在“十四五”期间建成“智能农机国家技术创新中心”。

（3）支持模式探索。建立融技术、产业、资金、科研、政策于一体，互相支撑的农机创新体系，明确各类主体在农机创新体系中的定位和任务。争取在中国科学院内以此为目标设立战略性先导科技专项支持，形成中国科学院的农业科技系统解决方案，并以此为基础孵化龙头企业，打造出与农机大国、强国相匹配的世界级农机龙头企业和一批核心关键技术细分领域的隐形冠军。

参考文献

1 南农. 2017中国农机化发展白皮书. 南方农机, 2018, 49(9): 1-6.

2 罗锡文. 对我国农业机械化科技创新的思考. 农机科技推广, 2019, (2): 4-7.

3 中国农机网. 2018年农机工业主营收入2600亿元，利润大幅下降15%，企业路在何方. [2019-04-10]. http://www.caams.org.cn/zxzx/xyzx/2019/04/67363.shtml.

4 刘宪. 中国农机学会农机维修分会2017学术年会专题报告. 农机使用与维修, 2017, (11): 1-4.

5 教育部, 人力资源和社会保障部, 工业和信息化部. 制造业人才发展规划指南. [2017-02-24]. http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757016/c5500114/content.html.

6 赵娜娜. 我国已成世界第一农机制造和使用大国. [2018-05-17]. http://www.moa.gov.cn/xw/qg/201805/t20180530_6148379.htm.

Build Innovation System of Third Generation of Agricultural Machinery in China

SUN Ninghui　ZHANG Yucheng*　SHI Jinglin

(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract　Agricultural mechanization and intelligent agricultural machinery equipment are important basis for improving agricultural production efficiency and rural productivity, and changing the mode of agricultural development. In the past 70 years, China's agricultural machinery industry has made remarkable achievements. It has become the largest agricultural machinery country in the world, though the backwardness before liberation. Nevertheless, there is still a huge technical gap between China and established powers in the field of agricultural machinery. "Big but not strong" has become the main feature at this stage. To realize the breakthrough "from big to strong" in agricultural machinery industry, the fundamental path is to establish an agricultural machinery innovation system suitable for China's agricultural production operation mode. This study takes tractor as a typical representative of agricultural machinery industry, and reviews the development process of agricultural machinery industry system in China. Then we divide the agricultural machinery industry system of new China into different generations according to the technological development and the reform of land system. The aim and content of the new generation (third generation) agricultural machinery innovation system are described emphatically. We also discuss the application of new technology innovation system in the Yellow River Delta, and introduce how to build the application system of the third-generation agricultural machinery. Finally, some suggestions are given for the construction of the independent and controllable third generation agricultural machinery innovation system of China.

Keywords　intelligent agricultural machinery, industrial distribution, the Third Generation of Agricultural Machinery Innovation System of China, intelligent agriculture, development suggestion



孙凝晖　中国工程院院士，中国科学院计算技术研究所所长、研究员、博士生导师，计算机体系结构国家重点实验室主任、学术委员会副主任，中国计算机学会高性能计算专业委员会主任，中国计算机学会副理事长，《计算机学报》主编，中国科学院大学计算机与控制学院副院长，中国科学院信息科技领域发展路线图战略研究专家组组长。主要研究领域包括高性能计算、计算机体系结构。E-mail: snh@ict.ac.cn

SUN Ninghui　Ph.D., Professor, Academician of Chinese Academy of Engineering. He is the Director of Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences (CAS). He is also the Director of State Key Laboratory of Computer Architecture, Vice Chairman of Academic Committee. Dr. Sun is the Vice President of China Computer Federation (CCF), and the Director of CCF Technical Committee High Performance Computing (TCHPC). He serves as Editor-in-Chief of *Chinese Journal of Computers*. Currently, Dr. Sun is the leader of the expert group on strategic studies of information technology development roadmap in CAS. His main research interests include high performance computing and computer architecture.
E-mail: snh@ict.ac.cn

* Corresponding author



张玉成　中国科学院智能农业机械装备工程实验室高级工程师，北京中科晶上科技有限公司副总经理。主要研究领域智能农机，复杂农业系统控制理论与方法。

E-mail: zhangyucheng@ict.ac.cn

ZHANG Yucheng　Ph.D., Senior Engineer, CAS Engineering Laboratory of Intelligent Agricultural Machinery and Equipment, Vice General Manager of Beijing Zhongke Jingshang Technology Co. Ltd. His main research interests include intelligent agricultural machinery, control theory and method of complex agricultural system. E-mail: zhangyucheng@ict.ac.cn

■责任编辑：岳凌生